



ARQUITECTURA VEGETADA

FUNCIONALIDADES DE LA VEGETACIÓN EN EL METABOLISMO DE EDIFICIO

Tesina final de master presentada por: Arq.Jelena Grujic

Tutor: Prof.dr.Albert Cuchi i Burgos

UPC · Departamento de Construcciones Arquitectónicas I
Máster en Arquitectura, Energía y Medioambiente

Septiembre 2011

INDICE

1 INTRODUCCION

1.1 Objetivo	1
1.2 Introducción	2
1.3 Contexto de referencia	2
1.4 Organización del documento	4

2 INTEGRACION DE LA VEGETACION Y LA ARQUITECTURA

2.0 Clasificación de sistemas de integración de vegetación en la arquitectura	6
2.1 Arquitectura viva	7
2.2 Cubiertas vegetadas	8
2.3 Paredes vivas	11
2.4 Sistemas con plantas trepadoras	13
2.5 Plantas en contenedores	15

3 FUNCIONALIDADES DE LA VEGETACIÓN EN EL METABOLISMO DE EDIFICIO

3.1 Flujo de energía	17
3.2 Flujo de agua	24
3.3 Flujo de materiales	34
3.4 Flujo de residuos	41

4 CONCLUSIONES

47

5 BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

51

1.1 OBJETIVOS

El objetivo general de la presente investigación es explorar las relaciones entre la arquitectura y la vegetación – entre un sistema artificial y un organismo vivo.

El objetivo específico de la primera parte de la tesina es desarrollar una propuesta de sistematización de técnicas actuales de la incorporación de vegetación en la arquitectura.

El objetivo de la segunda parte de la tesina es entender el funcionamiento y los potenciales de estos sistemas como una estrategia para disminuir el impacto ambiental que provoca el medio edificado y de esta manera definir los criterios para incorporar vegetación en un proyecto arquitectónico

1.2 INTRODUCCION

Un edificio que integre la vegetación recupera una pequeña parte del territorio para la vida natural. Desde la antigüedad esta ha sido una manera de conexión del espacio donde vivimos con la naturaleza, ya sea por ser visualmente agradable o por proteger el espacio interior del viento, la lluvia o el sol.

Con el desarrollo de las grandes ciudades, el aumento de la contaminación y el agotamiento de los recursos naturales, en los últimos años se ha despertado el interés por los aspectos ecológicos de la relación entre la vegetación y la arquitectura. Se han enumerado investigaciones científicas y proyectos que verifican los beneficios que puede proporcionar la incorporación de vegetación, como un sistema pasivo de regulación térmica de los edificios y el ahorro energético que esto conlleva, de la reducción del efecto isla de calor, la reducción de la contaminación del aire y la retención de dióxido de carbono, así como la disminución de problemas de contaminación relacionados con las escorrentías y la recuperación de la biodiversidad en áreas urbanas.

La idea de naturalizar la arquitectura está, por diferentes motivos, cada vez más presente, lo que ha provocado avances conceptuales y tecnológicos de los sistemas de integración de la vegetación en la construcción. En el mercado existe una gran variedad de estos sistemas, lo que por un lado permite nuevas soluciones arquitectónicas y una implementación más flexible, pero por otro hace que se tiendan a generalizar los efectos y beneficios que estos sistemas pueden proporcionar.

La incorporación de la vegetación en la arquitectura, siendo la vegetación un organismo vivo, o incluso un pequeño ecosistema, es mucho más compleja que el uso de materiales artificiales.

1.3 CONTEXTO DE REFERENCIA

La investigación tendrá un enfoque en la escala arquitectónica, concretamente en la escala del edificio. Algunos de los beneficios que puede proporcionar la arquitectura vegetada están más presentes en la escala urbanística, y en general en las escalas mayores, y serán significativos solo multiplicando las soluciones en la escala arquitectónica. Por otra parte la vegetación integrada en la escala arquitectónica puede proporcionar beneficios a nivel del mismo edificio y puede tener un interés especial en espacios reducidos, en las zonas urbanas densamente construidas.

Entre los beneficios mencionados se encuentran la relación entre la manera de la que el funcionamiento de un edificio altera los ciclos naturales de materia y energía y cómo los procesos biológicos en las plantas juegan un papel importante en estos ciclos.

PROCESOS METABÓLICOS EN LOS EDIFICIOS

Para poder funcionar, los edificios requieren recursos, que después de ser utilizados son devueltos al medio en forma de residuos. Estos “procesos metabólicos” de un edificio lo componen cuatro flujos principales: flujo de energía, de materiales, de agua, y de residuos.

:: Energía

La energía que se consume en el funcionamiento de los edificios proviene del uso de recursos no renovables (combustibles fósiles), lo que hace destacar este ciclo por sus desproporciones entre las fuentes y los sumideros. (1)

:: Materiales

Los materiales que se utilizan para la construcción de los edificios provocan impactos negativos sobre el medio ambiente durante la fabricación, el procesamiento, el transporte, la construcción, el mantenimiento y la demolición, generando residuos al final de su vida útil.

:: Agua

El medio edificado altera el ciclo natural del agua de dos maneras. Por un lado de manera directa - el agua después de ser utilizada es devuelta al ambiente degradada.

Por otro, de manera indirecta – las aguas de lluvia cayendo sobre las superficies impermeables de los tejados de los edificios, en lugar de introducirse en el suelo, corren sobre pavimentos, y así, contaminadas llegan a los drenajes pluviales, lo que hace que el agua de lluvia se convierta en agua residual.

:: Residuos

En las actividades relacionadas con el funcionamiento de un edificio se generan grandes cantidades de materia orgánica e inorgánica que acaban en forma de residuos y crean problema de contaminación del suelo, aire, agua.

PROCESOS METABÓLICOS DE LAS PLANTAS

Las plantas son organismos autótrofos y para su desarrollo dependen de tres factores: radiación solar, agua y nutrientes. Como productores primarios, hacen entrar la energía en los ecosistemas a través del proceso de fotosíntesis. En este proceso captan y aprovechan la energía solar para transformar sustancias inorgánicas (agua, dióxido de carbono y sales minerales), en sustancias orgánicas y expulsan el oxígeno.

La energía que las plantas usan para sus actividades metabólicas y la construcción de tejidos, es aprovechada después por otros seres vivos.

En las plantas, el agua absorbida por las raíces llega a las hojas, una pequeña parte es utilizada en la fotosíntesis y el resto se utiliza en el proceso de transpiración a través del cual vuelve a la atmósfera.

Los minerales, los nutrientes y el agua, se transfieren del suelo a las plantas mientras crecen, y regresan al suelo y al agua cuando las plantas se mueren.

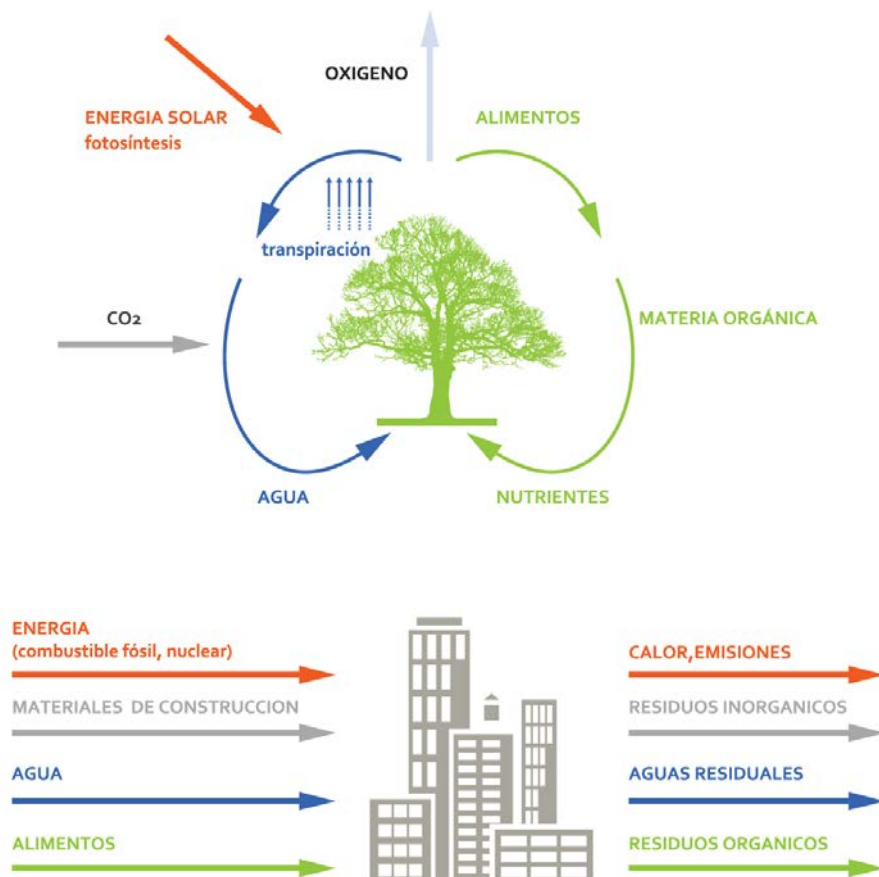


Figura 1: procesos metabólicos de las plantas y procesos metabólicos de los edificios

El funcionamiento de los edificios actuales se basa en la utilización de recursos en los ciclos abiertos y altera los ciclos naturales. En el presente trabajo se investigará como la incorporación de la vegetación podría ayudar a cerrar los ciclos que forman los procesos metabólicos de los edificios y, así, disminuir el impacto que la edificación provoca en la naturaleza.

1.4 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO

En la primera parte del trabajo se va a sistematizar la información y desarrollar una propuesta de clasificación de sistemas y técnicas actuales de integración de vegetación en la arquitectura.

En la segunda parte se va a analizar el funcionamiento de estos sistemas en relación con "los procesos metabólicos" de los edificios, observando cada uno de los cuatro flujos que definen estos procesos. Finalmente se va a analizar la relación entre estos cuatro flujos.

2.0 CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS DE INTEGRACIÓN DE LA VEGETACIÓN EN LA ARQUITECTURA

Existe una gran variedad y creatividad en las maneras de incorporar la vegetación en la arquitectura. Algunos conceptos contemplan más el aspecto estético, otros ven más la vegetación como un elemento importante en el funcionamiento del edificio desde aspectos bioclimáticos y ecológicos. La vegetación se puede incorporar en función de un elemento del edificio o en función de un espacio, sea interior o exterior. Hay sistemas que emplean una tecnología más compleja u otros que utilizan mecanismos más sencillos, se utilizan diferentes especies de plantas y técnicas de cultivo, sistemas industrializados o diseñados para un proyecto particular.

Para los objetivos de la tesina se propone una clasificación basada en sistemas constructivos y la configuración que pueden tener estos sistemas en relación con el edificio:



2.1 ARQUITECTURA VIVA

Arbortecture, *Living architecture* (Arquitectura viva), *Botanic architecture* (Arquitectura botánica), todos estos términos se utilizan para referirse a la arquitectura hecha únicamente con vegetación, con plantas arraigadas, vivas y que crecen.

Se trata de técnicas para guiar el crecimiento natural de arbustos y árboles con el fin de crear estructuras y espacios habitables. Estas técnicas se basan en un método similar al injerto- el método de propagación vegetativa artificial de los vegetales de la misma o similar especie de plantas en el que una porción de tejido procedente de una planta se une sobre otra ya asentada de tal modo que el conjunto de ambos crezca como un solo organismo, con dos o más sistemas de raíces. En muchas especies este proceso ocurre naturalmente. (2)



Figura 2: Injerto

Unos de los ejemplos más antiguos de estructuras vivas son los puentes de ficus en la India. La especie *Ficus elástica*, tiene raíces secundarias que se entrelazan naturalmente y se pueden dirigir para formar estos puentes. Diez o quince años más tarde se vuelven lo suficientemente sólidos para servir como puentes. Algunos de estos puentes pueden llegar a medir más de 30 metros, y soportar el peso de más de 50 personas. (3)



Figura 3 : Puentes vivos en Cherapunji, la India

Durante siglos estas técnicas han sido parte de las prácticas de jardinería. Desde principios de siglo XX, artistas e investigadores como John Krubsack, Axel Erlandson, Arthur Wiechula han utilizado esta técnica para crear esculturas y muebles. Algunos de los diseñadores contemporáneos más conocidos son Peter Cook y Becky Northey que llaman a su técnica *Pooktre*, y Richard Reames, quien acuñó el término *Arborsculpture*.⁽⁴⁾ El arquitecto paisajista alemán Rudolf Doernach utilizó estas técnicas, dentro de lo que él llamó *Biotecture*.⁽⁵⁾

En los últimos años se han hecho avances significativos en la aplicación de estas técnicas en la arquitectura. Hay varios grupos que investigan este campo, sobre todo en Alemania: ***Sanfte Strukturen, NaturBauten, Arborsmith Studios, Baubotanik*** (grupo de investigación de la Universidad de Stuttgart) y en Estados Unidos: **Mitchell Joachim con el grupo de investigadores del MIT** (Massachusetts Institute of Technology).

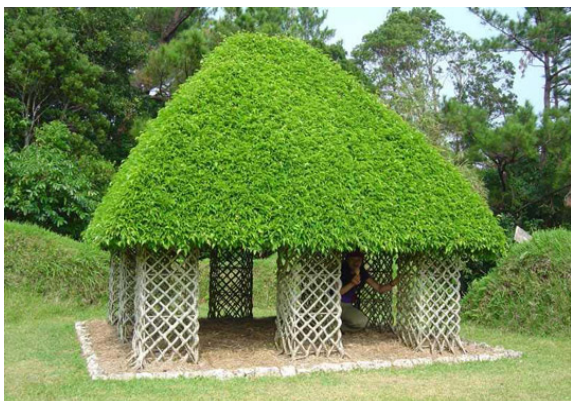


Figura 4: *Ficus house*, Arborsmith Studios



Figura 5: *Bird watching station*, Baubotanik

2.2 CUBIERTAS VEGETADAS

Cubierta vegetada (vegetal), *techo verde*, *techo vivo*, azotea verde o cubierta ajardinada, son términos que se utilizan para referirse al tipo de cubierta formada por un conjunto de capas que componen un sistema colocado directamente sobre una superficie de techo y que contienen vegetación como parte integral del conjunto. Un jardín en el tejado con plantas en contenedores o macetas, no se considera una cubierta vegetal, el sistema de cubierta vegetal funciona como superficie.

Los techos verdes no son un concepto nuevo. Los países escandinavos han usado techos de pasto por muchos siglos. El nuevo interés por los techos verdes y jardines en los tejados se desarrolló durante la primera parte del siglo XX con los proyectos de Le Corbusier, Walter Gropius y Frank Lloyd Wright. La tendencia moderna comenzó cuando Alemania desarrolló los primeros en la década de 1960, y ahora se ha difundido a otros países. Se calcula que alrededor del 10% de los techos en Alemania son verdes. ⁽⁶⁾



Figura 6 y Figura 7 : cubiertas vegetadas tradicionales

Los componentes típicos de una cubierta vegetada son:

- :: Sustrato
- :: Capa de filtración, geotextil
- :: Capa de drenaje
- :: Barrera de raíces
- :: Lamina de impermeabilización
- :: Aislación térmica

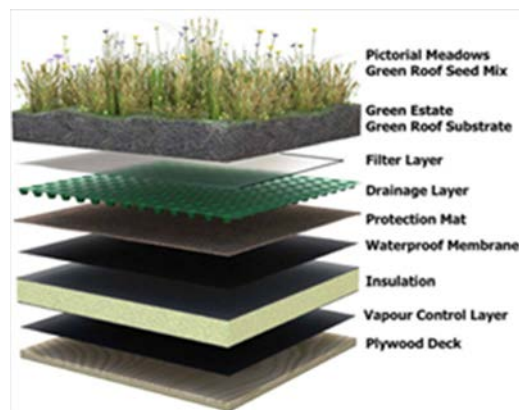


Figura 8: componentes de cubierta vegetada

El material para el crecimiento de las plantas consiste en una mezcla de tierra y otros compuestos orgánicos e inorgánicos, y de sus características depende en parte, la absorción de agua y nutrientes y el peso de la cubierta. La capa de filtración permite el paso del agua pero no otros compuestos sólidos del sustrato a la capa de drenaje en la cual se elimina el exceso de agua de lluvia de la cubierta y la almacena para su uso posterior. Hoy en día se han desarrollado sistemas que mejoran características específicas de cada componente, los componentes varían dependiendo del fabricante y la aplicación.

Las cubiertas vegetadas pueden dividirse en dos grandes grupos: **cubiertas intensivas** y **cubiertas extensivas**. Las cubiertas de tipo semi- intensivo y semi-extensivo contemplan características de estos dos tipos principales. Últimamente se han desarrollado sistemas modulares, que en muchos casos son precultivados, y permiten una instalación más rápida y un mantenimiento posterior más flexible.

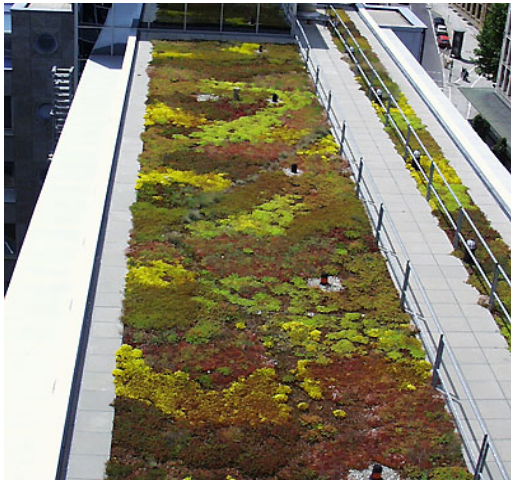
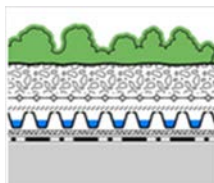
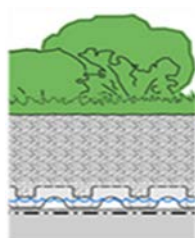


Figura 9: cubierta vegetada tipo extensivo Figura 10: cubierta vegetada tipo intensivo



Características de las cubiertas vegetadas de tipo extensivo:
 espesor de sustrato de 3 a 15 cm, poco o sin necesidad de agua y nutrientes adicionales, la vegetación de musgos, sedum y otras suculentas, hierbas o pastos de diferente composición, 60 - 150 kg/m², hasta 45 grados (7)



Características de las cubiertas vegetadas de tipo intensivo:
 espesor de sustrato de 20 -30 cm (o más); deben ser abastecidas regularmente con agua y nutrientes, plantaciones de plantas más grandes, plantas leñosas y superficies de césped ,200 - 500 kg/m², hasta 5 grados (7)

Figura 11 y Figura 12 : detalles de cubierta vegetada tipo intensivo y extensivo



Figura 13y Figura 14: cubierta vegetada modular



Figura 15 y Figura 16: cubiertas vegetadas

El término *cubierta ecológica* se utiliza para varios sistemas que contemplan un tipo de cubiertas vegetales extensivas, donde el sustrato es de pequeño espesor y alberga especies vegetales seleccionadas para resistir de forma espontánea las condiciones climáticas extremas, en contraposición con la cubierta intensiva, de ventajas similares, pero que necesita continuos aportes de agua y nutrientes.

Las cubiertas vegetadas tienen mayores requisitos estructurales, especialmente los intensivos. Algunos edificios, ya existentes, no pueden ser modificados porque no soportarían el peso del suelo y la vegetación.

Las cubiertas vegetadas se han construido más en los climas templados, pero el uso de plantas y sustrato adecuado permiten su aplicación en climas semi-áridos y tropicales (8)

La necesidad de riego dependerá de los factores climáticos, de los tipos de plantas y el tipo de sustrato. En la mayoría de los casos, solo las cubiertas intensivas necesitan de riego adicional. Con el uso de plantas autóctonas, ya adaptadas al clima local, debería ser suficiente la cantidad de agua de lluvia y nutrientes que penetran de manera natural. Cuando el riego sea necesario, el agua debe ser suministrada bajo la superficie del sustrato, infiltrada hacia las raíces. (8)

2.3 PAREDES VIVAS

Las paredes vivas (*living walls*) son sistemas en los que la estructura del edificio incorpora un medio de crecimiento para las plantas. Este concepto es relativamente nuevo y se usa sobre todo para fachadas, pero también, para paredes interiores.

Las paredes vivas están constituidas por paneles precultivados y / o fieltros geotextiles que hacen de soporte de la vegetación formada por plantas que pueden adaptarse a crecer en vertical (tapizantes, helechos, pequeños arbustos, perennes de flor, etc.) (9)

Las plantas en posición vertical deberán regarse de forma artificial, ya que en muchas ocasiones recibirán muy poca agua de lluvia. La mayoría de los sistemas actuales cuentan con un sistema de riego automatizado y computarizado para aportar óptima cantidad de agua con nutrientes a todas las zonas de la pared. (9)

:: **Paneles:** Paneles de diversas formas, tamaño y materiales, algunos de ellos precultivados, que disponen de espacios en los que se deposita el sustrato y las plantas y los cuales se fijan a la pared de la fachada. (9)



Figura 17 , 18, 19: Paredes vivas. Paneles modulares

:: **Filtros geotextiles:** Sistemas que utilizan filtros geotextiles como soporte de las plantas, anclados mediante una estructura de apoyo, en la pared. Los primeros sistemas han sido patentados por el botánico francés Patric Blanc. Actualmente hay empresas que desarrollan sistemas parecidos.

El muro vegetal de Patric Blanc está compuesto por una estructura metálica, una placa de PVC y dos mantas de fieltro de poliamida. La estructura metálica se cuelga del muro o bien es auto-portante. La lámina de PVC se ancla en la estructura metálica. Esta confiere la impermeabilidad y rigidez al conjunto. Las mantas de fieltro de poliamida se grapan a la lámina de PVC. Este fieltro es anti-raíces, y permite la distribución homogénea del agua. Las plantas se siembran o plantan en estos fieltros y el agua, con los nutrientes, se suministra desde la parte superior, de forma automatizada. El exceso de agua se recoge en la parte inferior y se vuelve a bombear hacia arriba, configurando un circuito cerrado (9)



Figura 20, 21 , 22 : Paredes vivas. Patric Blanc



Figura 23, Figura 24 , Figura 25 : Paredes vivas interiores

2.4 SISTEMAS CON PLANTAS TREPADORAS

Tradicionalmente han sido cultivadas diferentes tipos de plantas trepadoras, las cuales han desarrollado mecanismos de auto-sujeción, tienen como soporte el material de la fachada o requieren poco apoyo adicional para ir cubriendo la superficie de los edificios. Una de las plantas que más se utiliza en los climas templados es la *Hedera helix* (hiedra)

Las plantas pueden plantarse directamente en el suelo (en la base de la estructura), en macetas a diferentes alturas intermedias, o en la parte superior de la fachada. Las plantas cultivadas de esta manera suelen crecer normalmente unos 10m o hasta un máximo de 30m. Para evitar posibles daños en la fachada se debería proporcionar un mantenimiento adecuado. (10)



Figura 26 y Figura 27 : fachadas traicionales con plantas trepadoras

Sobre la base del concepto tradicional, recientemente se han desarrollado varios diseños de sistemas de *fachadas de doble piel* o *cortina vegetal* (9), donde la capa de vegetación está separada de la pared de la fachada mediante una estructura de soporte adicional, lo que permite una forma dirigida de cubrir superficies del edificio.

Se puede afirmar que las fachadas de doble piel o cortinas vegetales son las que ofrecen mejores expectativas, en cuanto a proveer superficies vegetadas verticales integradas a la edificación mediante sistemas constructivos sencillos y fácilmente desmontables y de mantenimiento extensivo. (9) Estos sistemas son mucho más simples que las paredes vivas, ya que se centran en dar soporte rígido para el crecimiento de plantas, que ya tienden a buscar la verticalidad. El uso de estructuras de soporte además evita el posible daño que pueden provocar las plantas en las fachadas.

Las fachadas vegetadas de doble piel se pueden dividir en tres grupos según el tipo de soporte adicional para plantas trepadoras: (9)

:: **Enrejados modulares:** enrejados metálicos muy ligeros montados sobre la fachada o constituyendo estructuras independientes

:: **Cableados:** estructura de soporte para las plantas trepadoras consiste en sistemas de cables de acero, anclajes, separadores, y otros elementos

:: **Mallas:** mallas de acero que se sujetan a las fachadas o a la estructura de las construcciones.



Figura 28 : Enrejados modulares Figura 29: Cableados Figura 30: Mallas



Figura 31,32,33: Integración de las plantas trepadoras en diferentes elementos arquitectónicos

Las plantas trepadoras, se pueden integrar en otros elementos arquitectónicos, como por ejemplo pérgolas adosadas, cubiertas, e incluso en elementos interiores.

2.5 PLANTAS EN CONTENEDORES

El uso de contenedores, jardineras y macetas puede ser una forma de integración arquitectónica, ya sea como elementos separados o como parte de la misma estructura del edificio. Como elementos independientes de la estructura, su uso más común es para crear zonas verdes en azoteas, balcones, terrazas, atrios, patios.



Figura 34 y Figura 35 : Jardineras perimetrales. Fachadas

El ajardinamiento de las fachadas con plantas colgantes, es también un concepto de las fachadas vegetadas. En este caso, en jardineras continuas perimetrales que forman parte, o no, de la composición de fachada, se plantan arbustos de porte colgante, constituyendo una cortina verde en la fachada. Estas se suelen diseñar para un proyecto concreto y normalmente requieren un mantenimiento continuo. (9)



Figura 36 : Jardineras interiores



Figura 37: Jardineras exteriores

3.1 FLUJO DE ENERGÍA

Ahorro energético

Desde la arquitectura vernácula se conocen los beneficios que puede aportar la vegetación al confort térmico de un edificio, y en cuanto al aspecto funcional de la vegetación en la arquitectura este ha sido el beneficio más destacado.

La vegetación como un material vivo, responde a las condiciones climáticas del sitio donde se encuentre. A diferencia de otros materiales de construcción, la vegetación absorbe y refleja una parte de la radiación solar sin aumentar su temperatura y calentar el aire que la rodea. La energía absorbida se invierte en funciones metabólicas de la planta, la fotosíntesis y la evaporación del agua que la planta maneja como mecanismo de auto regulación de la temperatura. (11)

:: CONTRIBUCIÓN DE LAS CUBIERTAS Y FACHADAS VEGETADAS AL AHORRO ENERGÉTICO EN LA EDIFICACIÓN

Como "barreras" entre el ambiente exterior e interior, las fachadas y cubiertas son las partes del edificio que sufren mayores cambios de temperatura. En los últimos años ha aumentado el número de investigaciones relacionadas con el funcionamiento de las cubiertas y fachadas vegetadas como sistemas pasivos de regulación térmica de los edificios y el consiguiente ahorro energético.

Las funcionalidades de las envolventes vegetadas en este sentido dependerá principalmente de las condiciones climáticas, así como de las de especies de plantas que se utilicen y de su mantenimiento (aportación de agua, nutrientes, exposición a la radiación solar). Otros factores que hay que considerar son el tipo de construcción y el tipo de aislamiento del edificio, la orientación de la superficie vegetada y la relación entre el tamaño de superficie vegetada y el volumen del edificio (edificios bajos se beneficiarán más del techo verde que los altos, que pierden más energía por fachada).

Se considera que el funcionamiento de la vegetación integrada en la envolvente como sistema pasivo de regulación térmica de los edificios, actúa de cuatro maneras: (9)

- **aislamiento térmico**
- **sombra**
- **el enfriamiento evaporativo**
- **la variación del efecto que produciría el viento sobre la edificación**

Estas actuaciones están a menudo relacionadas, y juntas influyen en el comportamiento de las envolventes vegetadas como sistema pasivo de regulación térmica, y dependen de parámetros específicos resumidos en las siguientes tablas:

CUBIERTAS ▼

AISLAMIENTO TERMICO	INTERACCION CON LA RADIACION - SOMBRA	ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO	VARIACION DEL EFECTO DEL VIENTO SOBRE LA EDIFICACION
Densidad del follaje Sustrato / espesor, densidad aparente, contenido de humedad, color / Tipo de aislante del edificio	Densidad del follaje	Tipo de planta Clima seco/húmedo Velocidad del viento Sustrato /contenido de humedad/	Densidad del follaje Dirección y velocidad del viento

Tabla 1: Parámetros que condicionan el funcionamiento de la vegetación como sistema pasivo de ahorro de energía .Cubiertas vegetadas

FACHADAS ▼

AISLAMIENTO TERMICO	INTERACCION CON LA RADIACION - SOMBRA	ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO	VARIACION DEL EFECTO DEL VIENTO SOBRE LA EDIFICACION
Densidad del follaje Modificación del aire de espacio intermedio* Sustrato* /espesor, densidad aparente, contenido de humedad, color / Tipo de aislante de edificio	Densidad del follaje	Tipo de planta exposición Clima seco/húmedo Velocidad del viento Sustrato* /contenido de humedad /	Densidad del follaje Orientación de la fachada Dirección y velocidad del viento

* Solamente en algunas tipologías de fachadas

Tabla 2: Parámetros que condicionan el funcionamiento de la vegetación como sistema pasivo de ahorro de energía .Fachadas vegetadas

La densidad foliar expresada por el índice de área foliar (LAI), que representa la relación entre la superficie de hojas por unidad de superficie de suelo, es el factor que más influye en el funcionamiento de las superficies vegetadas como técnica pasiva de ahorro energético (la cual influye en la interacción con la radiación solar y la transpiración). (9)

:: CUBIERTAS

Las propiedades aislantes de una cubierta vegetada deben ser consideradas en el contexto de la estrategia del aislamiento total del edificio. Este tipo de cubiertas actúa como aislamiento adicional, excepto en climas cálidos donde pueden ser suficientes para proveer de confort los espacios interiores. (12) Por lo tanto el efecto dependerá del aislamiento del edificio, y la contribución de la cubierta vegetada será más significativa en los edificios poco o mal aislados. (13)

Los beneficios térmicos que pueden aportar las cubiertas vegetadas se deben a los efectos combinados del sustrato y la vegetación.

El efecto que produce la vegetación dependerá principalmente de la densidad de follaje. Por otra parte, el espesor de la capa de sustrato, su densidad aparente y su contenido de humedad, determinan la difusividad térmica del suelo, la cual se incrementa con la densidad aparente y disminuye con el contenido de humedad. (9)

La masa térmica que aporta el sustrato también influye para que las fluctuaciones en la temperatura interior sean más uniformes durante el día. (8)

Diversas mediciones han demostrado que las cubiertas con 20-40cm de capa de vegetación con 20cm de sustrato, son equivalentes a 15 cm de lana de roca. (8)

En condiciones de verano el principal beneficio térmico de la vegetación, comparado con otros materiales, es que proporciona sombra y enfriamiento evaporativo, que será siempre más efectivo cuanto más densa sea la vegetación. El efecto de enfriamiento evaporativo está relacionado con la evapotranspiración, desde las hojas de la planta y desde el suelo, y depende del tipo de planta y de la exposición, así como de la humedad de sustrato y de las condiciones climáticas (en ambientes secos o por el efecto del viento, se incrementa la evapotranspiración) (9)

Por otro lado, en invierno, las cubiertas vegetadas pueden contribuir a aumentar la eficiencia energética de los edificios debido al bloqueo del viento frío.

Unos ejemplos interesantes de las investigaciones que comparan diferentes tipos de cubierta y en diferentes condiciones climáticas, pueden dar una idea de su importancia en el ahorro energético.

****** Estos resultados están basados en las mediciones de flujo térmico a través de un elemento vegetado específico (solo a través de la cubierta o solo a través de la fachada) comparado con elementos sin vegetación integrada. Por lo tanto el porcentaje de la reducción de la demanda energética no es aplicable a la demanda energética total de refrigeración y calefacción total de un edificio, que dependerá de varios factores.

>> Estudios realizados en Madrid, por el Grupo de Investigación ABIO de la UPM (Universidad Politécnica de Madrid) referentes a cubiertas ajardinadas extensivas, concluyen que, en condiciones de invierno, las cubiertas que tienen mejor comportamiento son las que tienen un aljibe de 8 cm, aisladas, independientemente de la posición del aislante, con reducciones del consumo del 70,65% respecto a una cubierta invertida. En condiciones de verano, las óptimas son las cubiertas ecológicas con aljibe de 8 o 16 cm, aisladas, que dan lugar a una reducción del 91,93% del consumo respecto de una cubierta invertida. (14)

>> Una investigación hecha en Canadá, (British Columbia Institute of Tecnology), compara dos tipos de cubiertas vegetadas con la cubierta convencional sin vegetación. Una de las cubiertas vegetadas es de tipo extensivo con espesor del sustrato de 7,5 cm (GR1) y otra de tipo semi intensivo, con 15 cm de espesor de sustrato (GR2) (15)



Figura 38 : cubierta vegetada 1 (GR1)



Figura 39: cubierta vegetada 2 (GR2)

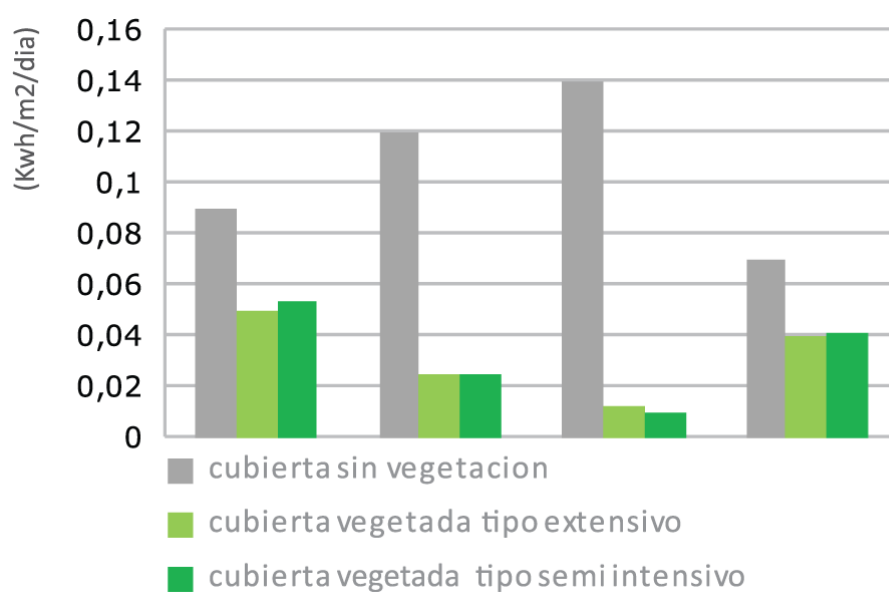


Figura 40 : La demanda energética diaria intermedia debido a flujo de calor a través de la cubierta

Las dos cubiertas vegetadas fueron más eficaces en el periodo de primavera/ verano, reduciendo la demanda energética (debido a la reducción de flujo térmico a través de la cubierta) en un 83-85% y en otoño / invierno en un 40-44%.

En el periodo más cálido, las cubiertas vegetadas, redujeron la demanda de refrigeración debido a la actuación conjunta de mecanismos de sombreado, aislamiento térmico, evapotranspiración y masa térmica.

En el periodo más frío, el sustrato perdió potencial de propiedades de aislamiento debido al alto nivel de precipitaciones en Vancouver, pero mantuvo una alta masa térmica debido a la cantidad de humedad en el sustrato.

Las dos cubiertas vegetadas demostraron resultados similares durante el año, excepto en los meses más calurosos, la cubierta con el espesor de sustrato y densidad de follaje más grande (GR2), fue más eficaz debido a la masa térmica y a un efecto de enfriamiento evaporativo más alto.

:: FACHADAS

La vegetación integrada en las superficies verticales de la piel del edificio actúa de manera similar a las cubiertas vegetadas, estando determinada por los parámetros específicos resumidos en la Tabla 2.

La funcionalidad de la vegetación integrada en las fachadas como sistema pasivo de ahorro energético dependerá también de la orientación de la pared y la configuración del sistema de integración de la vegetación en las fachadas.

El funcionamiento de los sistemas que tienen sustrato en la superficie vertical-paredes vivas, dependerá de las propiedades del sustrato y debido a su configuración, su funcionamiento será más parecido al funcionamiento de sistemas de cubiertas vegetadas. Los sistemas que incluyen sistemas de riego y técnicas hidropónicas pueden proporcionar un beneficio adicional en verano en cuanto a efecto de enfriamiento evaporativo. (13)

En cuanto a las fachadas vegetadas de doble piel, su característica específica es la creación de unas condiciones micro climáticas diferentes en el espacio que queda entre la cortina vegetal y la pared del edificio, caracterizadas por una temperatura mayor y una humedad relativa más baja en invierno (período sin hojas), y una menor temperatura y una humedad más alta en verano (periodo con hojas), lo que contribuye a los beneficios que aporta este tipo de fachada como aislamiento térmico. (9)

En verano la sombra directa es posiblemente el beneficio más evidente de la vegetación en las fachadas. Comparado con otros sistemas de sombreado, ofrecen similares efectos de sombra con un plus de enfriamiento evaporativo. (9) La magnitud de este efecto depende de la densidad del follaje.

El hecho de usar vegetación de hoja caduca en las paredes que reciban más radiación solar puede permitir la absorción de la radiación solar cuando sea deseable (invierno) y evitar la sombra en invierno. Por otro lado, la vegetación de hoja perenne será más apropiada en las paredes que no reciban energía solar, para así reducir la pérdida térmica de estas paredes en invierno.

La vegetación perenne, puede proporcionar aislamiento adicional en invierno no solo manteniendo la capa de aire entre vegetación y pared, sino también actuando como una barrera de viento frío. Aunque este efecto se nota más si la pared está poco aislada, se destaca como muy beneficioso, sobre todo en climas donde sea característico rachas de viento frío en invierno. (13)

Este efecto puede llegar a compensar el efecto negativo de las pantallas vegetadas en invierno, debido al efecto de la sombra. (9)



● Temperature variation of Green Walls

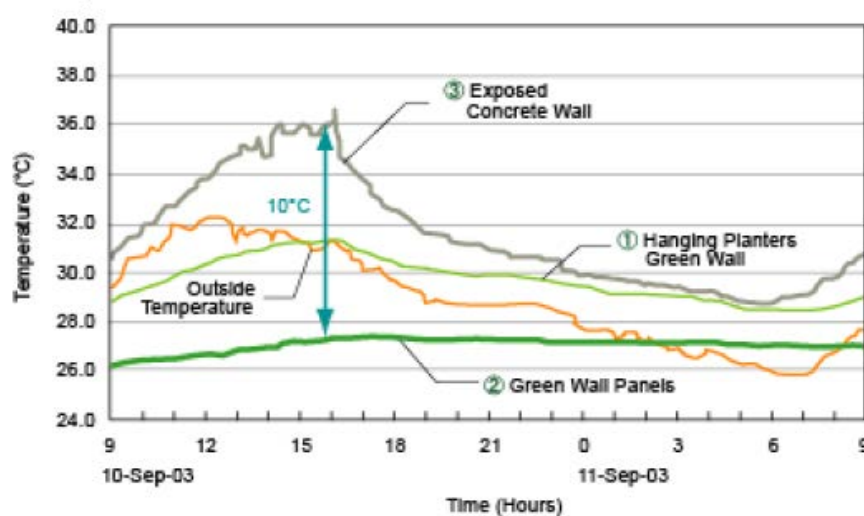


Figura 4.1: Distribución de temperaturas a través de una fachada este, sin y con hiedra.

>> En la investigación llevada a cabo en la UPC (Universidad Politécnica de Cataluña) en relación al funcionamiento de las fachadas vegetadas de doble piel (cortinas vegetales), especie *Wisteria sinensis* (Glicina), y concretamente en un clima mediterráneo continental, en las mediciones se concluye que "La temperatura superficial en la pared de fachada fue de media 5,5 ° C superior en las áreas soleadas respecto de las áreas sombreadas por la cortina vegetal, llegando al máximo de 15,8 ° C superior el mes de septiembre en orientación sur oeste." (9)

De las simulaciones del mismo edificio (llevadas a cabo con la herramienta de simulación Bioclim + CONFIE), se ha concluido que: " el hecho de disponer pantallas vegetales hace incrementar ligeramente las demandas de calefacción (entre el 0,8% y el 1% en el caso de considerar las pantallas vegetales actuando sobre los huecos de ventana, y entre el 4% y el 6% si también se considera la parte opaca de la pared), mientras que disminuye significativamente las demandas de energía para refrigeración entre el 27% al 30% si se consideran las pantallas vegetales actuando en los huecos de ventana y entre el 60% y el 66% si se considera también la parte opaca de las paredes de fachada." (9)

>> Los elementos de protección solar móviles para los huecos de la fachada, que incorporan las especies trepadoras, pueden actuar como protección contra las ganancias excesivas de calor en verano y al mismo tiempo dejar entrar la radiación solar en invierno. La investigación llevada a cabo por el grupo de investigación ABIO de la Universidad Politécnica de Madrid demuestra que el uso de estos sistemas puede llegar a disminuir la demanda energética en refrigeración en un 40 %.(16)

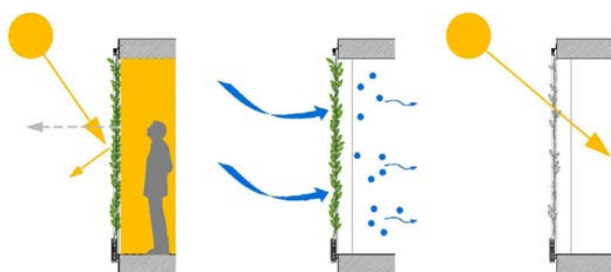


Figura 42: Influencia de la vegetación en los huecos de fachada



Figura 43: Simulación en régimen transitorio de la contraventana deslizante vegetada

3.2 FLUJO DE AGUA

3.2.1 Depuración de las aguas residuales: Fitodepuración

En la naturaleza la reducción o eliminación de contaminantes del agua ocurre espontáneamente por medio de una serie de procesos biológicos y físico-químicos en los que participan las plantas acuáticas de los propios ecosistemas.

Los sistemas artificiales de fitodepuración (phyto = planta, depurare = limpiar, purificar) reproducen y aprovechan estos procesos naturales, optimizándolos con el fin de mejorar la efectividad depurativa. El concepto de fitodepuración puede aplicarse cuando exista la intervención de cualquier tipo de organismo fotosintético, ya sean plantas superiores (macrofitas) o algas macroscópicas o microscópicas. Sin embargo, el concepto más generalizado se refiere a la intervención de plantas macrofitas en los humedales artificiales, construidos por el hombre como réplica de los humedales naturales. (17)

La depuración natural de las aguas se conoce desde la antigüedad en China y Grecia. (18) Los primeros sistemas modernos de tratamiento a través de fitodepuración mediante bancales (Reed bed treatment systems-RBTS) fueron investigados por primera vez en 1960 en Alemania. (19) Actualmente, se calcula que en Europa están operativas unas 11,370 plantas de fitodepuración monitoreadas por distintos institutos de investigación científica. (20)

La fitodepuración se ha aprobado como una solución económica y ecológica para reducir el consumo de agua potable que, con el crecimiento demográfico, es cada vez mayor. Puede ser tanto una solución para los países en vías de desarrollo como una solución económica y apropiada para zonas donde por diferentes motivos es difícil de construir sistemas de saneamiento convencionales y debido a eso se contamina agua directamente. (20)

Las aguas tratadas pueden ser reutilizadas en la agricultura, la industria y en general sustituir el uso de agua potable en usos que no la requieren. (17)

En relación con otros sistemas de depuración tecnológicos, la principal ventaja de los sistemas de fitodepuración es que no necesitan energía eléctrica para su funcionamiento, la única energía que se consume es la energía solar utilizada en los procesos metabólicos de las plantas. Los humedales artificiales pueden adoptar diversas configuraciones para adaptarse paisajísticamente al entorno, conformando una zona verde.

Además, los sistemas de fitodepuración tienen un mantenimiento más sencillo y suelen ser igualmente eficaces en la eliminación de materia orgánica e incluso más efectivos en la eliminación de algunos elementos contaminantes, como el nitrógeno y el fósforo, que para las plantas son nutrientes. (17)

Las principales limitaciones de estos sistemas son que requieren amplias superficies de terreno y que no son apropiados para determinadas aplicaciones, como por ejemplo el tratamiento de aguas industriales con alta contaminación inorgánica. El rendimiento de la depuración también puede variar según la estación del año, especialmente en climas muy fríos. (17)

:: EL PROCESO DE FITODEPURACION

Antes de introducir el agua residual en los humedales artificiales el agua pasa por tanques donde se realiza un pre-tratamiento para eliminar sólidos gruesos y no biodegradables. A continuación el agua residual podría introducirse en el sistema de humedal artificial para su tratamiento y la eliminación de la materia biodegradable. (17)

Las plantas acuáticas son la base del proceso de fitodepuración. Se trata tanto de actuaciones activas - actividad fisiológica, como de actuaciones pasivas- procesos físicos por efecto de la presencia de las plantas en el sistema. Este tipo de plantas se caracterizan por haber desarrollado los mecanismos para producir el oxígeno necesario para el crecimiento de los microorganismos que viven en la rizosfera y que van a degradar una gran parte de la materia orgánica, de modo que una vez descompuestos, serán absorbidos por la planta.

Las especies vegetales deberían ser especies autóctonas, adaptadas a las condiciones climáticas. Es importante considerar su capacidad de transportar oxígeno desde las hojas hasta la raíz, su tolerancia a concentraciones elevadas de contaminantes y la capacidad asimiladora de las mismas. (17)

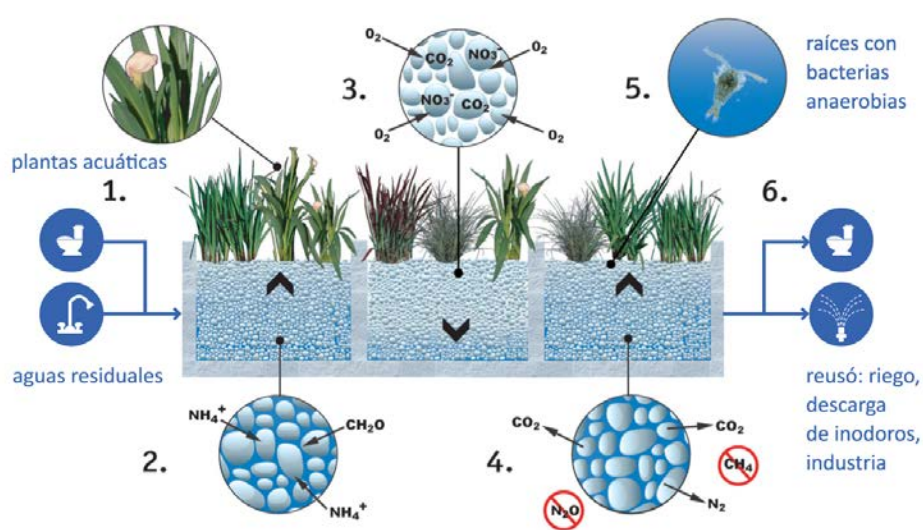


Figura 44: Esquema del proceso de aireación de la rizosfera de las macrofitas emergentes de los humedales

TIPOS DE SISTEMAS DE FITODEPURACION

El diseño de sistemas de fitodepuración es muy variado, pero siempre incluye canalizaciones (lagunas, tanques o canales poco profundos por los que se hace circular el agua residual), aislamiento del suelo para evitar el paso de la contaminación a los ecosistemas naturales circundantes y el control del flujo del afluente en cuanto a su dirección, flujo, tiempo de retención, y nivel del agua.

Los sistemas de fitodepuración - humedales artificiales se pueden dividir en dos grupos principales:

- **humedales de flujo superficial**
- **humedales de flujo sub-superficial**

Dentro de estos dos grupos el diseño puede variar. En cuanto a la dirección del movimiento del agua a través del humedal se consideran los tipos de flujo horizontal o vertical. En lo referido al sustrato, hay sistemas que llevan por debajo del agua una capa de suelo o tierra, sistemas que tienen lecho de grava y arena, o sistemas que únicamente tienen agua. Con respecto a la vegetación, hay sistemas que contemplan el uso de plantas acuáticas flotantes, macrofitas acuáticas emergentes o sistemas de uso de macrofitas acuáticas emergentes en flotación. (17)



Figura 45: humedal de flujo sub-superficial



Figura 46: humedal de flujo superficial

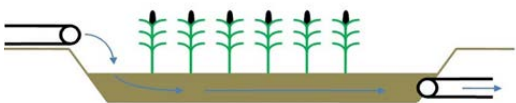


Figura 47: Esquema de humedal de flujo sub-superficial

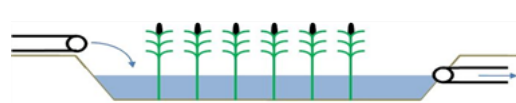


Figura 48: Esquema de humedal de flujo superficial

Humedales de flujo sub-superficial: En estos sistemas el agua se hace discurrir por debajo de la superficie del sistema a través de un medio que consiste en un lecho de arena y/o grava que sostiene la vegetación (hidrófitos o higrófitos). No existe lámina de agua a la vista del observador y el agua no está en contacto con el aire, lo que evita la presencia de malos olores e insectos y de esta forma es posible su ubicación cerca de viviendas. (17)

Algunos de estos sistemas no tienen el vertido del agua depurada sino que el agua vuelve a su ciclo natural en el proceso evapotranspiración. Este sistema es efectivo en zonas cálidas, de poca pluviosidad y durante la estación de verano. Su aplicación es particularmente interesante en aquellas zonas donde no es posible el vertido de agua tratada por diferentes motivos (falta de cuerpos hídricos receptores, terreno impermeable, etc.) (21)

Humedales de flujo superficial: Estos sistemas se configuran con una apariencia similar a la de los humedales naturales. El agua se hace discurrir por la superficie de un canal o estanque que contiene una capa de agua no muy profunda, (30 cm- 1 m.) Hay una combinación de espacios con la lámina de agua a la vista y otros con cobertura total por vegetación acuática (hidrofitos), generalmente con predominancia de plantas macrofitas emergentes, enraizadas en el sustrato en el fondo del canal o estanque; también pueden incorporar especies acuáticas flotantes, y especies vegetales sumergidas. (17)

:: SISTEMAS DE TRATAMIENTO DESCENTRALIZADO DE LAS AGUAS RESIDUALES A PEQUEÑA ESCALA

Para los objetivos de la tesina son especialmente interesantes los **sistemas compactos de fitodepuración**, que se pueden integrar en la escala arquitectónica, tanto funcionalmente como estéticamente. Estos sistemas compactos solucionan algunas de las principales limitaciones de los sistemas de fitodepuración convencionales, que requieren grandes superficies de suelo, y permiten su introducción en entornos urbanos densamente contruidos.

El agua depurada de esta manera puede sustituir el agua potable, para los usos que no la requieren.

En los últimos años se ha despertado el interés por la investigación y comercialización de los sistemas de tratamiento descentralizado de las aguas residuales a pequeña escala. El funcionamiento de estos sistemas es similar al funcionamiento de la fitodepuración a mayor escala, con la diferencia que la balsa de fitodepuración es un elemento prefabricado.

>> Unos de los primeros sistemas compactos de fitodepuración son las **maquinas vivas** (*living machine*), desarrolladas por el ingeniero y biólogo John Todd. Las *maquinas vivas* funcionan simulando y acelerando los procesos naturales de ecosistemas acuáticos. El agua residual avanza a través de diferentes tanques, que están enlazados mediante tubos conectores. Cada tanque forma un pequeño ecosistema. Después de una semana de filtración, los desechos de aguas residuales se descomponen en nutrientes para microorganismos, algas y plantas acuáticas.

Las *maquinas vivas* se pueden utilizar para el reciclaje de aguas grises y aguas negras y el agua tratada se puede volver a utilizar para el riego agrícola y de jardines, o para la recarga de inodoros. El sistema no crea olores y se puede integrar como una zona verde en espacios interiores y exteriores, ajustando el tamaño según las necesidades.

Durante los últimos diez años este sistema ha sido aplicado en muchos edificios residenciales, hoteles, escuelas, oficinas, y en zonas donde es difícil construir los sistemas de depuración convencionales. (22)



Figura 49 y Figura 50: Ejemplos de integración arquitectónica del sistema *maquina viva*

* Sq-Ft/1000 gal/day; estimate for 30,000 gallon per day systems
 ** Kwh/1000 gal/day; estimate for 30,000 gallon per day systems
 *** Typical non-potable reuse includes subsurface irrigation, toilet flushing, effluent discharge to rivers and lakes and/or wash water

	Living Machine Tidal Flow Wetland	Living Machine Hybrid Wetland	Horizontal Subsurface Flow Wetland	Vertical Subsurface Flow Wetland	Advanced Activated Sludge System
Footprint* (ft ²)	150	550	1,250	330	75
Energy Use**	0.5	0.4	0.1	1.0	2.0
Effluent Quality	Tertiary + Reuse***	Tertiary + Reuse***	Secondary	Tertiary + Reuse***	Tertiary
Operating Costs	Low	Low	Low	Low	High

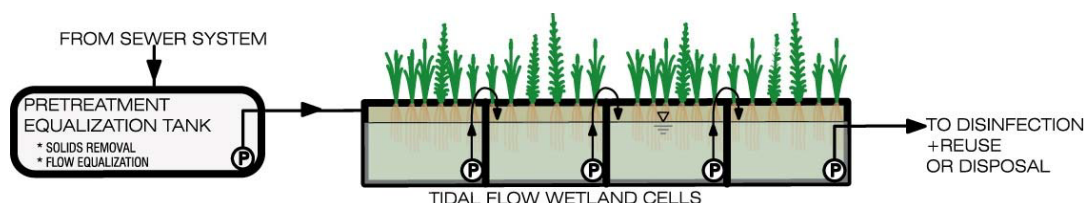


Figura 51: El funcionamiento del sistema *living mashine*. Comparación del rendimiento de diferentes sistemas

>> Otra aplicación interesante, en cuanto a implementación en la escala arquitectónica, son las cubiertas vegetadas que integran sistemas de fitodepuración.

Uno de los primeros sistemas de este tipo es el sistema **G.R.O.W (Green Roof Water Recycling System)**, patentado por la empresa **WWUK (Water Works UK)**.

G.R.O.W es un sistema modular de la cubierta vegetada donde la vegetación convencional es sustituida por especies cuyas raíces pueden realizar la función de depurar el agua. Un módulo de medida 4m x 2m x 1m (alto) puede reciclar las aguas grises de entre 30-45 personas. (23)



Figura 52, Figura 53: el sistema G.R.O.W. Las plantas y sistema constructivo de un módulo experimental

>> **Cubiertas planas fitodepuradoras.** El Grupo de Investigación ABIO (Arquitectura Bioclimática en un entorno sostenible), de la Universidad Politécnica de Madrid, desarrolla desde el año 2007 los sistemas industrializables de fitodepuración como parte de una propuesta de optimización de los recursos hídricos en la vivienda.

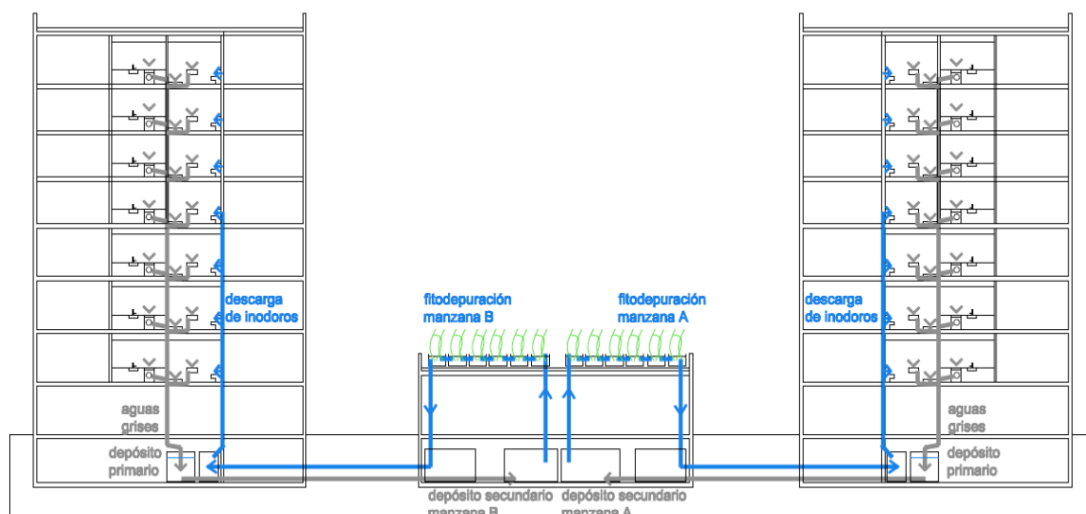


Figura 54: aplicación del sistema de fitodepuración en las cubiertas de las viviendas existentes

La innovación respecto a los sistemas construidos tradicionalmente *in situ* y utilizado para grandes superficies, consiste en la industrialización de los bancales y el uso de macrofitas en flotación, para aumentar el contacto de las aguas con las raíces de las plantas acuáticas, donde se desarrollan las bacterias responsables de la fitodepuración, y de este modo disminuir la superficie y el peso necesarios para su aplicación en las cubiertas. La construcción modular del sistema permitirá aumentar la capacidad del sistema de acuerdo con la demanda existente. (19)



Figura 55: componentes del sistema industrializado de fitodepuración

El tiempo necesario para una correcta depuración son 7 días. El agua es expulsada y almacenada en depósitos modulares, para su posterior reutilización.

Se ha calculado que con este sistema se consigue una optimización del espacio cercana al 80% comparado con sistemas tradicionales de macrofitas en flotación lo que supone una superficie de 1.531 m² de los bancales de 0.5 m de altura para 1680 habitantes de las viviendas analizadas. En el caso de la recogida única de las aguas procedentes de lavabo, bañera/ducha, bidé y lavadora se ha calculado que el agua depurada llega a cubrir la demanda total de descarga de inodoros (de bajo consumo) en las viviendas y que sobraría un porcentaje siempre superior al 50 % para riego. (19)

3.2 FLUJO DE AGUA

3.2.2 Gestión de las aguas pluviales

El aumento de las superficies impermeables en las ciudades hace que la cantidad de agua de escorrentía aumente y sea un problema para las infraestructuras de saneamiento, además esta agua de lluvia se convierte en agua contaminada a depurar. En la naturaleza el agua vuelve a su ciclo natural absorbida por el suelo y la atmósfera en los procesos de evaporación y transpiración de las plantas.

En los últimos años cada vez se da más importancia a los beneficios que proporciona la vegetación integrada en los edificios en lo que se refiere a la gestión del agua de lluvia. En algunos países una de las principales razones para la implementación de cubiertas vegetadas es el control de la escorrentía en las áreas urbanas.

:: CUBIERTAS VEGETADAS COMO PARTE DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE

En general varias tipologías de la vegetación incorporada en los edificios pueden integrar soluciones de aprovechamiento de agua pluvial. Sin embargo, las cubiertas, que ocupan gran parte de las superficies en las áreas urbanas y sustituyen al suelo natural, son los elementos de los edificios que más contribuyen a la alteración del ciclo natural del agua.

Recientemente ha sido promovido el sistema de drenaje sostenible **SUDS (*Sustainable Urban Drainage Systems*)** para solucionar los problemas asociados con el drenaje convencional. La filosofía de SUDS es reproducir los patrones de drenaje natural y reducir así el impacto sobre el medio acuático. (13)

Las cubiertas vegetadas forman parte de la estrategia de drenaje sostenible, contribuyendo a ello de dos maneras:

- **Reducen la cantidad de agua de escorrentía, reteniendo el agua y retrasando el pico de escorrentía**
- **Mejoran la calidad de las aguas pluviales eliminando sustancias contaminantes**

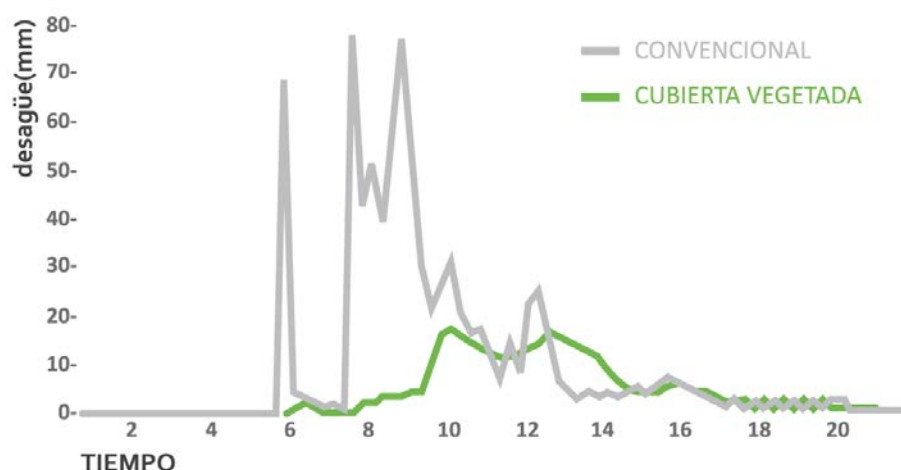


Figura 56 : Comparación de flujo de agua pluvial (desagüe), en una cubierta sin vegetación y cubierta vegetada extensiva en el periodo de 22 horas.

El agua de lluvia que cae sobre una cubierta vegetada se retiene en el sustrato y vuelve a su ciclo natural, a la atmósfera, en forma de vapor en el proceso de evapotranspiración. El exceso del agua se almacena en la capa de drenaje para su uso posterior.

En zonas de clima con niveles de precipitaciones altos, las cubiertas vegetadas se consideran como un efectivo sistema de control de la escorrentía superficial y en climas con precipitaciones anuales bajas, como una estrategia de recogida y aprovechamiento de este recurso.

El rendimiento de una cubierta vegetada depende de los siguientes factores: (13)

- Profundidad y tipo de sustrato , contenido de agua en sustrato
- Capacidad de almacenamiento de agua de la capa de drenaje
- Tipo de vegetación
- Factores climáticos (temperatura, humedad , viento)
- Intensidad y duración de las precipitaciones.

Las cubiertas vegetadas de tipo extensivo pueden ser una manera eficaz de retener mayores cantidades de agua pluvial debido al uso de las plantas que absorben agua rápidamente y la mantienen (como el sedum) Por otra parte, las cubiertas de tipo intensivo mantienen el rendimiento a través del uso de sustratos más profundos, mientras que se recupera la biodiversidad empleando variedad de especies de plantas. (13)

Los rendimientos de las cubiertas vegetadas según diferentes autores varían.

>> Un estudio realizado en Portland, Oregón, EE.UU. (clima templado) demuestra que las cubiertas vegetadas son capaces de retener alrededor entre un 65 y el 100 % del volumen total del agua que cae sobre la cubierta en verano y en invierno de un 10% a un 35 %. Incluso durante prolongadas e intensas lluvias, los techos verdes reducen y retrasan la escorrentía. El factor que más influye en la capacidad de retención de agua es el espesor del sustrato. (13)

Type of greening	Course depth in cm	Water retention Annual average in %	Annual discharge coefficient Ψ_a sealing coefficient
Extensive greening	2-4	40	0,60
	> 4-6	45	0,55
	> 6-10	50	0,50
	> 10-15	55	0,45
	> 15-20	60	0,40
Intensive greening	15-20	60	0,40
	> 25-50	70	0,30
	> 50	≥ 90	$\leq 0,10$

1) The values relate to locations with 650-800 mm of annual rainfall and with several years of investigation. The water retention is higher in areas with lower annual rainfalls and is lower in regions with higher annual rainfalls.

Figura 57 : valores de porcentaje anual de retención de agua de lluvia y coeficiente de desagüe para diferentes tipos de cubierta vegetada

	Roof gradient up to 5°	Roof gradient larger 5°
at > 50 cm course depth	C = 0,1	-
at > 25-50 cm course depth	C = 0,2	-
at > 15-25 cm course depth	C = 0,3	-
at > 10-15 cm course depth	C = 0,4	C = 0,5
at > 6-10 cm course depth	C = 0,5	C = 0,6
at > 4-6 cm course depth	C = 0,6	C = 0,7
at > 2-4 cm course depth	C = 0,7	C = 0,8

Figura 58: coeficiente de desagüe para cubiertas vegetadas dependiendo de su inclinación y la profundidad del sustrato

3.3 FLUJO DE MATERIALES

Vegetación como material de construcción

Los materiales de construcción, en mayor o menor medida, durante diferentes fases de su vida útil, tienen un impacto negativo sobre el medio, acabando finalmente como residuos.

En los sistemas de cubiertas vegetadas y paredes vivas, la vegetación actúa como un material de acabado. Otro caso es la arquitectura hecha únicamente con vegetación, la arquitectura viva, que forma parte de los ciclos naturales y que en relación con el tema de este capítulo tiene un interés especial.

El concepto de arquitectura viva ha empezado a desarrollarse en los últimos 10 años. Lo que es realmente nuevo, es la aplicación de las técnicas conocidas de jardinería a la escala de arquitectura.

Los potenciales de este tipo de construcción están todavía en fase experimental, pero tras una comparación general con los materiales convencionales, se pueden observar las siguientes ventajas y limitaciones de las estructuras vivas:

Ventajas:

- **Material orgánico**
- **Auto fabricación**
- **Autoreparación – capacidad de regeneración natural (capacidad natural de reparar menores daños en el tejido)**
- **El proceso de crecimiento natural optimiza la resistencia de la estructura - la planta se espesa en aquellos puntos donde hay mucha tensión y con el tiempo la estructura se vuelve más fuerte**

Limitaciones:

- **Tardan años en crecer y desarrollar la capacidad de actuar como una estructura estable**
- **Su vida útil está limitada por la vida de las plantas**
- **Requieren un mantenimiento continuo**

En los últimos años se han hecho avances significativos en la aplicación de estas técnicas en la arquitectura. Uno de los pioneros en este campo fue el **Sanfte strukturen** de Alemania. Este grupo empezó con sus investigaciones en el año 1984. Su primera construcción con sauces vivos en la escala de arquitectura la hicieron en el año 1998. Este proyecto es conocido como *Auerworldpalace* (en Auerstedt, en Alemania) y tiene unas dimensiones de 320 m² y 7 m de altura. Desde entonces han construido diferentes estructuras vivas en varios países de Europa. La estructura más grande es "la catedral de sauces" en Rostock del año 2003, con una superficie de 800m² y 15 m de altura.

La técnica que utilizan se basa en técnicas antiguas de Mesopotamia y Europa, de construcción con cañas, pero en vez de utilizar ramas o cañas cortadas, utilizan arboles vivos entrelazados de manera que generen estructuras muy resistentes.

La estructura sigue transformándose con los años, aumentando la densidad de las hojas y creando así, espacios en forma de pabellones. (24)



1999



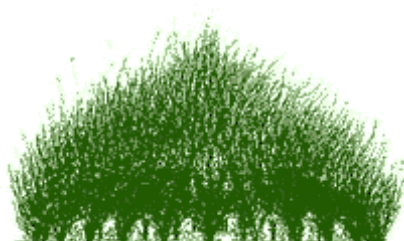
2002



2005



2009



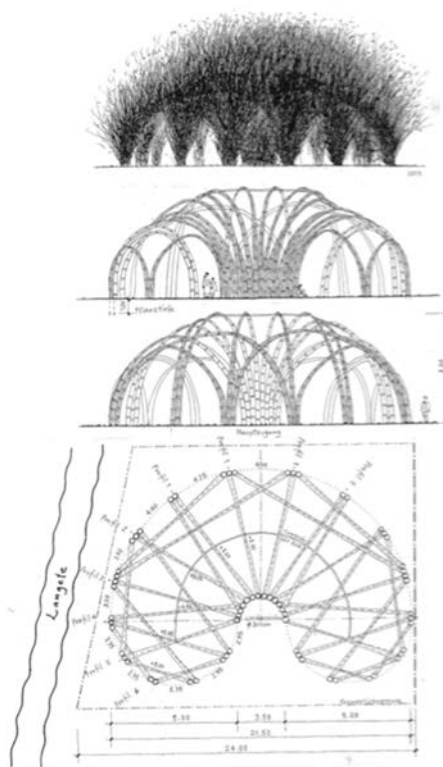
2012



Figura 59: Auerworldpalace al año de la construcción



Figura 61 : desarrollo de Auerworldpalace Figura 60: Auerworldpalace, 7 años después de la construcción



Figuras 62, 63, 64, 65 : ejemplos de los proyectos del grupo Sanfte Strukturen

>> El grupo de investigación **Baubotanik** (construcción botánica), de la Universidad de Stuttgart (*Institute of Modern Architecture and Design IGMA, University of Stuttgart*), ha ido desarrollando su concepto de arquitectura viva desde el año 2005. Este método es similar a los anteriores con la diferencia de que en la estructura viva se integran elementos de apoyo adicional de otros materiales (normalmente metálicos).

Las plantas jóvenes se organizan y entrelazan de tal manera de que crean una forma deseada. En un principio, a las plantas se les proporciona de manera continua agua y nutrientes, y la estructura viva mantiene la forma deseada debido al apoyo temporal de la estructura metálica. Las plantas más bajas, situadas en el suelo, tienen que desarrollar un sistema de raíces muy potente. Cuando se consiga una estructura lo suficientemente resistente, el apoyo adicional se podrá eliminar, y los árboles servirán de apoyo para el techo y los pisos. (25)

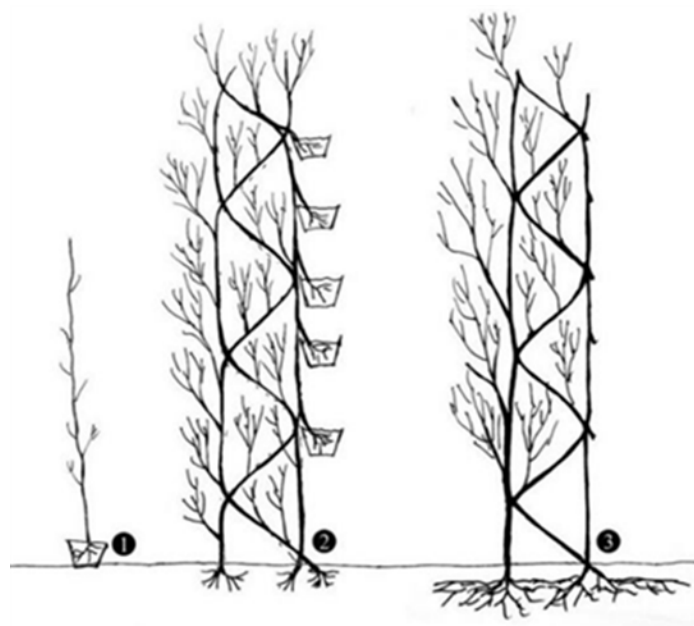


Figura 66: método de adición de las plantas

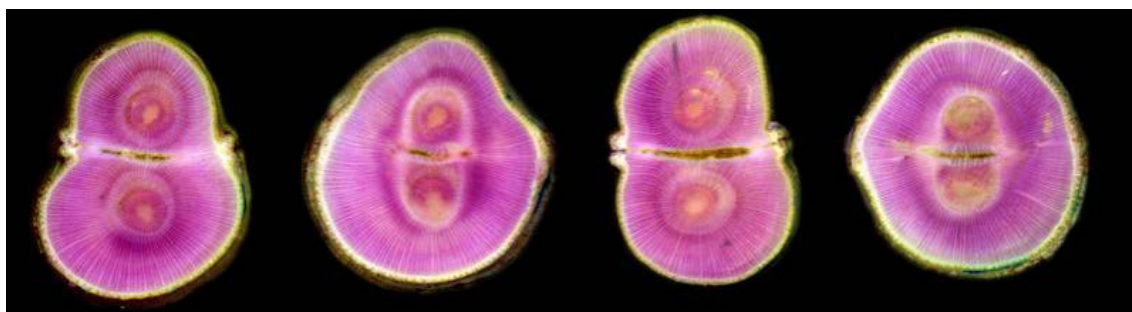


Figura 67, Figura 68 :El patrón de crecimiento del *Ficus benghalensis* - la contraparte natural de este proceso

Todas estas estructuras están construidas con sauces de un año de vida, plantados muy densamente: con plantas, por tanto, que arraigan muy bien, que por su flexibilidad permiten ser modelados, que crecen muy rápido y que pueden reproducirse fácilmente mediante estacas.

En los experimentos se ha notado que cuando los árboles se apoyan en otra estructura ya no desarrollan sus propias fuerzas. Sin embargo, cuando se juntan y entrelazan de esta manera y se añade una carga adicional (pesos de hormigón) se estimula el crecimiento y mejora la estabilidad de la estructura. De hecho la planta se espesa en los lugares sometidos a un esfuerzo especial. Por esta razón, los arquitectos “entrenan” a su material de construcción para que crezca formando nudos en puntos de soporte cruciales, sometiéndolo a un esfuerzo determinado.

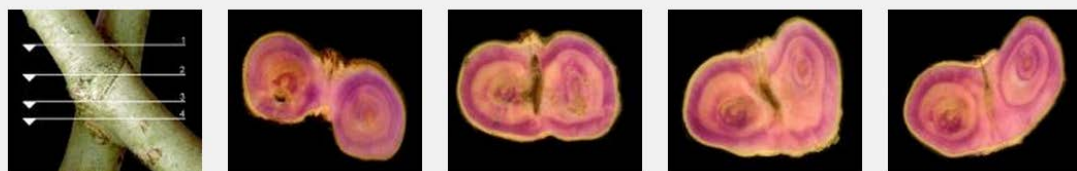
El grupo concluye que para lograr una aplicación correcta de su concepto en la práctica, será determinante desarrollar un método para controlar la distribución del flujo de los nutrientes y el agua en toda la estructura, la manera de estimular el crecimiento de las raíces y en particular, la investigación de los puntos de intercrecimiento. (25)



Stages of development of a parallel knot



Serial cross-sections of a cross-knot



Cross-knots



Figura 69 : Experimento de intercrecimiento de las plantas

Este método de construcción ha sido utilizado para realizar varios proyectos de pabellones, un mirador de 6m de altura, con una plataforma metálica de 800 kg que puede soportar el peso de diez personas a la vez, una torre de tres pisos, de 9 m de altura en total, un puente peatonal de 2,5 m de altura y 22 m de largo. Entre otras propuestas futuras están desarrollando proyectos de un pabellón de 120 m² para exposiciones y conciertos en Stuttgart y un puente de 20 m de longitud sobre el río Neisse en la frontera entre Alemania y Polonia. (25)



Figura 70,71, 72, 73 : El puente peatonal



Figura 74 : El Mirador



Figura 75: *Small summer pavilion*



Figura 76: *Baubotanical tower*

>> Otra propuesta basada en esta idea es la del proyecto ***Fab Tree Hab***, que ha sido desarrollada desde el año 2003. Aunque no se trata de un proyecto realizado, sigue siendo el tema de investigación del grupo de investigadores de ***Human Ecology Design team of MIT*** (Massachusetts Institute of Technology). Se trata de una casa cuya estructura son árboles vivos. El entramado de las ramas que daría forma a la casa se acabaría de cerrar con un revoco de arcilla y paja que se debería reapplicar anualmente, adaptándose al crecimiento de los árboles. (26)



3.4 FLUJO DE RESIDUOS

Reciclaje de los residuos orgánicos

A nivel general, se estima que entre un 30% y un 40% del total de los residuos domésticos son de carácter orgánico. Esta fracción de los desechos de las actividades que se realizan dentro de los edificios no es otra cosa que fuentes de nutrientes para los cultivos de plantas. (27)

En la naturaleza los restos orgánicos se descomponen y vuelven a su ciclo natural como nutrientes para otras especies. En las ciudades, la materia orgánica acaba en los vertederos y aunque últimamente se hayan conseguido avances significativos en la gestión de los residuos urbanos, esto sigue siendo más un problema de contaminación que un recurso.

:: GESTIÓN DE RESIDUOS PARA RECUPERACIÓN DE NUTRIENTES

La materia orgánica puede ser utilizada como acondicionador de los suelos - para mejorar algunas propiedades de los mismos o como fertilizante. Para poder utilizarse con este fin, los residuos sólidos orgánicos domésticos (restos de alimentos o de actividades vinculadas a la jardinería), necesitan una preparación y unos procesos de acondicionamiento para que su efecto sea positivo. El proceso más común de procesamiento de los residuos orgánicos es el compostaje. (27)

El compostaje es una descomposición aeróbica en la cual la materia orgánica se descompone en CO₂ y agua, mientras se estabiliza el producto – el compost, abono orgánico para cultivo. El proceso de compostaje es realizado por micro-organismos que crecen espontáneamente en cualquier mezcla natural de residuos orgánicos si se mantiene húmeda y aireada. (27)



Figura 79: El proceso de compostaje

El compost mejora las propiedades físicas del suelo aumentando la porosidad de la tierra e incrementa su capacidad de retención de agua, mejora las propiedades químicas aumentando el contenido en macronutrientes N, P, K, y micronutrientes y mejora la actividad biológica del suelo actuando como soporte y alimento de los microorganismos que contribuyen a su mineralización (28)

Para una elaboración correcta del compost es imprescindible una apropiada separación de la materia orgánica. Si esta se elabora de una manera adecuada no debe conllevar ningún tipo de riesgo ambiental ni de salud, pero es importante un control continuo de calidad para asegurarnos de ello. (28)

El compost se produce en la mayoría de los casos en grandes plantas centralizadas. El compostaje a nivel doméstico, descentralizado, puede ser una alternativa a las rutas de eliminación de la fracción compostable de los residuos lo que puede reducir el impacto ambiental por el transporte y obtener un producto de mejor calidad que en las grandes plantas de compostaje (ya que resulta prácticamente imposible controlar los elementos que contiene cada bolsa de basura) (28)

Lo más adecuado para la elaboración de compost en el entorno urbano son los compostadores. Actualmente en el mercado existen varios modelos de distintas capacidades y formas, que se pueden utilizar en espacios reducidos.

:: VEGETACIÓN EN ARQUITECTURA Y USO DE COMPOST

Con el desarrollo de los sistemas de integración de la vegetación en la arquitectura se ha dado una mayor importancia a la mejora de las propiedades del sustrato. Los más recientes sistemas de cubiertas suelen llevar un sustrato formado por materia orgánica en un 10-15%, incluso en algunos casos este porcentaje llega hasta el 30%. (29)

La materia orgánica en el sustrato suele utilizarse sobre todo en cubiertas vegetadas de tipo intensivo. Una de las ventajas del uso del compost en las cubiertas verdes, aparte de que aporta nutrientes, es que de esta manera el sustrato retiene mayores cantidades de agua. (29)

La arquitectura vegetada, aparte de plantas ornamentales, puede incorporar cultivos de hortalizas, frutas y verduras, en los que el uso de compost tiene un papel fundamental. Los beneficios ecológicos, económicos y sociales que proporciona la agricultura urbana, hacen que cada vez esté más presente en las grandes ciudades. A escala arquitectónica la agricultura urbana está más presente como un fenómeno espontáneo, pero también puede ser iniciado como parte de un proyecto arquitectónico.

En general los cultivos de verduras y frutas se pueden incorporar a todos los elementos exteriores de los edificios, es decir los tejados, terrazas, balcones, ventanas, paredes...

Para ello es necesario considerar factores climáticos y una adecuada exposición a la radiación solar (lo recomendable es que el huerto reciba un mínimo de 6 horas de luz solar diariamente)(27)



Figura 81 y Figura 82 : Agricultura urbana en tejados

Las hortalizas se pueden cultivar en aquellos elementos del edificio que contengan un espesor suficiente de sustrato, como pueden ser algunos sistemas de cubiertas vegetadas. En este caso hay que tener en cuenta la profundidad del sustrato que necesitan algunas especies y que mayores espesores de sustrato pueden provocar dificultades de sobrepeso a las estructuras de la edificación que no están pensadas para esto. También las herramientas de la jardinería tradicional pueden llegar a hacer daño a las capas de impermeabilización de las cubiertas vegetadas.

Sin embargo existen soluciones que pueden ser más prácticas como las del uso de 'camas' o jardineras y macetas en hileras. Estos elementos pueden tener formas diversas y pueden ser aplicados como parte de la solución arquitectónica, bien como sistemas modulares que forman parte de la misma estructura de los edificios, o como elementos individuales en los jardines en las azoteas, balcones, terrazas.



Figura 79: PF1. Huerto urbano modular



Figura 84 y Figura 85 : PF1. Huerto urbano modular



Figura 80: Eat house. Un ensayo de como cultivar hortalizas aprovechando las paredes exteriores

:: RELACIÓN ENTRE PRODUCCIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DOMÉSTICOS Y LA DEMANDA DE COMPOST

A nivel general sobre un 40 % del total de residuos domésticos es materia orgánica. Esta masa de materia orgánica se reduce en un 40 % más al ser tratada para su aplicación agrícola debido a que pierde humedad. (27)

Las hortalizas que se cultiven en la ciudad, requerirán una determinada cantidad de compost que depende del tipo de cultivo, de la técnica agraria que se utilice, la calidad del suelo y del clima. (27) En general la cantidad de compost que se utiliza en los huertos varía entre 5 y 50 kg por m². (28)

¿Cuánta superficie de huerto por habitante se necesita para reutilizar todos los residuos orgánicos?

M2 DE HORTALIZA / HABITANTE	1.85
FMO*	0.28
RELACIÓN	0.15

*FMO (Factor Metabólico orgánico) : relación entre la producción de residuos orgánicos y la demanda de compost de las hortalizas

Figura 88: Propuesta de introducción de cultivos de hortalizas en los tejados y balcones en el distrito del Ensanche de Barcelona

>> En una investigación llevada a cabo en la Universidad Politécnica de Cataluña, se propone la introducción de la agricultura urbana, la cual formaría parte de la estrategia de gestión de los residuos orgánicos domésticos. La propuesta hipotética examina el uso de tejados de manzanas y balcones (con las mesas de cultivo - *hort urba*), en el distrito del Ensanche de Barcelona.

Considerando unas condiciones ideales, los resultados obtenidos de los cálculos de relación entre la producción de residuos orgánicos y la demanda de compost demuestran que el 15 % de los residuos orgánicos producidos por cada habitante podrían ser reutilizados para cubrir la demanda de compost de un metro cuadrado de huertos en tejados y balcones de los mismos edificios. (27)

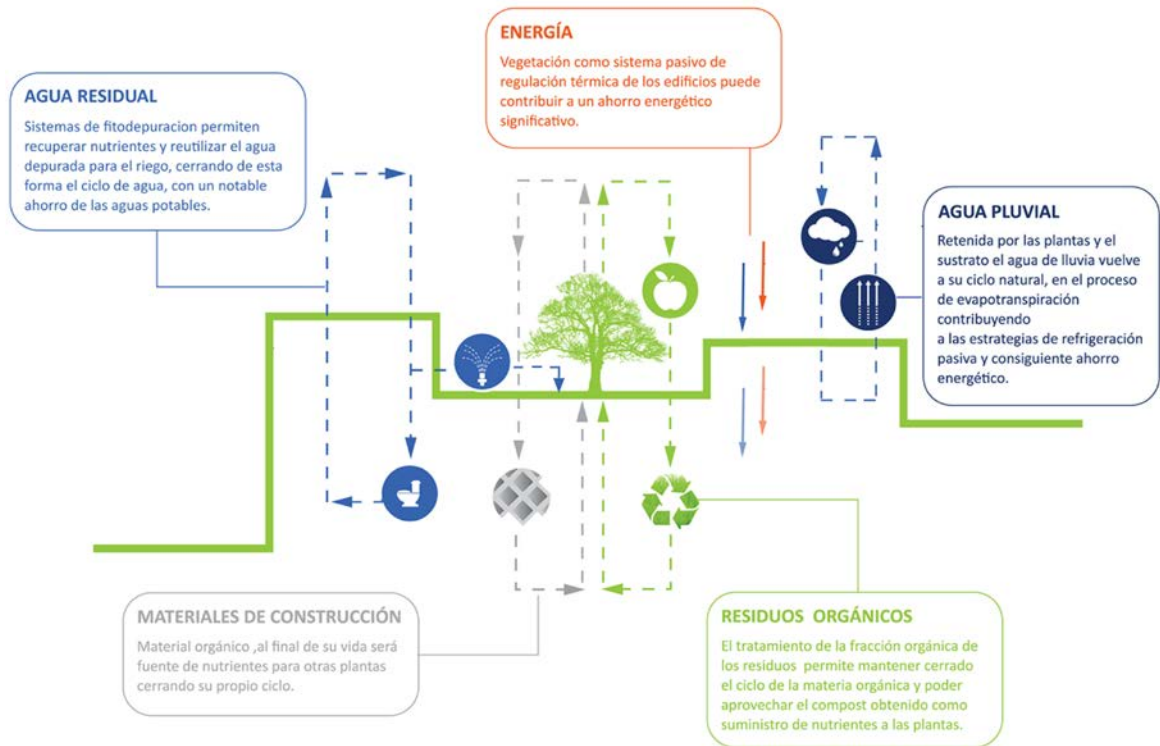


Figura 89: metabolismo de la arquitectura vegetada

El potencial de la arquitectura vegetada está en entender el funcionamiento de los sistemas analizados como un conjunto interrelacionado.

Del análisis previo, de cada uno de los aspectos funcionales de la vegetación en el metabolismo de los edificios y las relaciones entre los flujos analizados, se pueden destacar siguientes conclusiones:

FLUJO DE ENERGÍA (ahorro energético)

- En cuanto aspecto funcional de vegetación en la arquitectura su función como sistema pasivo de regulación térmica y el consiguiente ahorro energético de los edificios ha sido el campo más investigado.
- Los resultados de investigaciones responden a casos muy dispersos (diferentes climas, especies vegetales utilizadas, sistemas constructivos, etc.) lo que dificulta su comparación e interpretación, pero todos confirman que la utilización de vegetación, de forma bien diseñada y gestionada, puede contribuir a un ahorro energético significativo.

FLUJO DE AGUA (depuración de aguas residuales, gestión de aguas pluviales)

- Actualmente hay cada vez más interés en la investigación y aplicación de los sistemas de fitodepuración, sobre todo para la depuración de aguas residuales a mayores escalas. Sin embargo, en los últimos años han sido patentados sistemas compactos prefabricados, que pueden ser muy eficaces en la depuración de las aguas residuales a pequeña escala. Dependiendo de caso concreto, el agua reciclada de esta manera puede llegar a sustituir completamente el uso de agua potable para los usos que no la requieren, a nivel de mismo edificio.
- Los sistemas de integración de la vegetación en arquitectura (sobre todo las cubiertas y fachadas vegetadas) se desarrollan con el fin de utilizar menos agua posible. Lo importante es eliminar el uso de agua potable para el riego de plantas. Aquí los sistemas de fitodepuración pueden proporcionar esta agua para el riego.
- La capacidad de retención de aguas pluviales ha sido una de las funcionalidades de la vegetación, más investigada, y una de las principales razones para la implementación de las cubiertas vegetadas como elementos fundamentales de estrategias de gestión de aguas pluviales en las áreas urbanas.
- Reteniendo el agua de lluvia las cubiertas vegetadas contribuyen al control de escorrentías urbanas y a la vez a estrategias de refrigeración pasiva y consiguiente ahorro energético.

FLUJO DE MATERIALES (vegetación como material de construcción)

El uso de plantas vivas como material constructivo y sus potenciales está en la fase experimental. Estas técnicas ofrecen un material de construcción (con la capacidad de auto reparación y auto optimización de resistencia), que no requiere energía para su fabricación y los únicos residuos que genera serán fuente de nutrientes para otras plantas.

Los proyectos realizados hasta ahora demuestran que las plantas vivas pueden sustituir los materiales convencionales de construcción para ciertos usos.

FLUJO DE RESIDUOS (reciclaje de los residuos sólidos orgánicos)

- Aunque en la escala arquitectónica, la integración de cultivo hortícola actualmente está presente como un fenómeno espontaneo, podría ser iniciado desde proyecto arquitectónico, ya que, aparte de otros beneficios que proporciona, puede ser una manera de reciclar la parte significativa de los residuos orgánicos aprovechándolos como fuente de nutrientes para plantas.

La reutilización total de los residuos orgánicos requiere superficies de suelo amplias (por habitante) y por lo tanto seria difícilmente posible en la escala en un edificio.

LOS SISTEMAS ANALIZADOS

- Los beneficios que proporciona la integración de vegetación en la arquitectura son múltiples, pero para una aplicación óptima siempre hay que considerar los factores condicionantes relacionados con cada uno de sistemas. Siendo un elemento vivo, el uso de vegetación es mucho más complejo que el de materiales convencionales aplicados con el mismo objetivo.
- De los diferentes sistemas de integración de vegetación en la arquitectura, el sistema que más entrelaza los flujos analizados son las cubiertas vegetadas (aspecto de ahorro energético, gestión de agua de lluvia, desarrollo de cultivo hortícola)
- Las cubiertas vegetadas extensivas e intensivas demuestran similares resultados en cuanto al ahorro energético. El uso de las cubiertas vegetadas extensivas se potencia principalmente por razones de mantenimiento más bajo. Por otro lado el uso de las cubiertas vegetadas intensivas puede proporcionar otros beneficios: mayor retención de contaminación de aire, mayor recuperación de biodiversidad en las áreas urbanas, desarrolló de cultivo hortícola- agricultura urbana)

BIBLIOGRAFIA:

1. **Programme THERMIE.** *Un vitruvio ecológico :Principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible.* Barcelona : Gustavo Gili, 2007.
2. **Wikipedia.** *Injerto.* <http://es.wikipedia.org/wiki/Injerto> (consultado en junio de 2011)
3. **Ecoosfera.** *Los maravillosos puenetes colgantes de Cherapunji*
<http://www.ecoosfera.com/2010/10/los-maravillosos-puentes-colgantes-de-cherrapunji-india/> (consultado en junio de 2011)
4. **Wikipedia.** *Treesaping*
http://en.wikipedia.org/wiki/Tree_Shaping (consultado en junio de 2011)
5. **Doenarch, Rudolf.** *Living Houses*
http://www.rainforestinfo.org.au/good_wood/biotctl.htm#anchor570162
(consultado en junio de 2011)
6. **Wikipedia.** *Green roof.* http://en.wikipedia.org/wiki/Green_roof
(consultado en julio de 2011)
7. **Minke, Gernot.** *Techos verdes :Sencillo y fácil : Planificación, ejecución, consejos prácticos.* Olba, Teruel : EcoHabitar, 2005.
8. **Dunnett, Nigel, and Noël Kingsbury.** *Planting green roofs and living walls.* Portland : Timber Press, 2004.
9. **Pérez Luque, Gabriel.** *Façanes vegetades. estudi del seu potencial com a sistema passiu d'estalvi d'energia, en clima mediterrani continental.* Tesis Doctoral.Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Construccions Arquitectòniques I.2010
10. **Grant, Gary.** *Green roofs and façades.* Bracknell : IHS BRE Press, 2006.
11. **Neila González, Francisco Javier.** *Arquitectura bioclimática :En un entorno sostenible.* Madrid : Munilla-Lería, 2004.
12. **Machadi, M.; Brito, C.; Neila, J. :** *La cubierta ecológica como material de construcción.* Informes de construcción, Vol. 52 nº 467, mayo/junio 2000.
13. **Newton J. ;Gedge D. ; Early P. ; Wilson S.** *C644 Building Greener: Guidance on the Use of Green Roofs, Green Walls and Complementary Features on Buildings.* CIRIA, 2007.

14. **Neila, Fj.; Bedoya, C.; Acha, C.; Olivieri, F.; Barbero, M.** *Las cubiertas ecológicas de tercera generación: un nuevo material constructivo*. Informes de construcción Vol. 60, 511, 15S24. Julio/Septiembre 2000.
15. **Marshall, S., Connelly, M.** *BCIT Green Roof Research Program, Phase 1. Summary of Data Analysis*. Centre for the Advancement of Green Roof Technology
http://commons.bcit.ca/greenroof/publications/cmhc_report.pdf (consultado en julio de 2011)
- 16 **Chanampa M.; Vidal P.; Alonso J; Neila, J.; Bedoya, C; Touceda I.;Olivieri, F.; Guerra R.** *Tecnologías verdes como instrumentos de rehabilitación arquitectónica*
<http://www.sb1omad.com/ponencias/archivos/a/Ao10.pdf> (consultado en julio de 2011)
17. **Gonzalez Fernandez J.** *Manual de fitodepuracion.Filtros de macrofitas en flotación*.
<http://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos%20Manual/Cap%EDtulos%201%20a%202.pdf> (consultado en julio de 2011)
18. **Izembart, Helène, Bertrand Le Boudec.** *Waterscapes : El tratamiento de aguas residuales mediante sistemas vegetales = using plant systems to treat wastewater*. Barcelona : Gustavo Gili. 2003
- 19 . **Gonzalez A.; Chanampa M.; Bedoya, C; Neila, J.** *Cubiertas planas fitodepuradoras Propuesta de gestión de aguas grises en altura, para barrios de alta y media densidad* <http://www.sb1omad.com/ponencias/archivos/a/Ao12.pdf> (consultado en julio de 2011)
- 20 .**Agencia Regional para la Protección del Medio Ambiente de Toscana.** *Constructed wetlands. Depuracion natural de las aguas*.
www.undp.org/cu/pdhl/ideass/ConstructedWetlandsest.pdf
21. **Ecodena.** *Depuracion natural* <http://www.ecodena.es/> (consultado en julio de 2011)
22. **Worrell Water Technologies.** *Tidal wetland living machine system. System description and scientific basis*
http://www.livingmachines.com/images/uploads/resources/tidal_wetland_living_machine_technology_description.pdf (consultado en julio de 2011)
23. **Water Works UK. Green Roof Water Recycling System**
<http://www.wwuk.co.uk/grow.htm>
(consultado en julio de 2011)
24. **Sanfte Strukturen.** www.sanftestrukturen.de (consultado en julio de 2011)
25. **Living Plant Constructions.** <http://www.ferdinandludwig.com/>

26. **Fab Tree Hub.** <http://www.archinode.com/bienal.html> (consultado julio de 2011)

27. **Arosemena Díaz, Graciela, Albert Cuchí, Francesc Navés Viñas.** *Ruralizar la ciudad. Metodología de introducción de la agricultura como vector de sostenibilidad en la planificación urbana.* Tesis Doctoral. Universitat Politècnica Catalunya. 2008

28. Cela Urquiaga, Raul .Jornadas Técnicas de Ciencias Ambientales. El compostaje domestico-Una alternativa viable. (consultado julio de 2011)
http://www.jornadastecnicas.com/docpdf/Residuos_Raul_Urquiaga.pdf

29. WRAP (Waste & Resources Action Programme) *Quality compost use in green roof construction* <http://www.wrap.org.uk/> (consultado en julio de 2011)

FIGURAS Y TABLAS:

Tabla1 y Tabla 2: Pérez Luque, Gabriel. *Façanes vegetades. estudi del seu potencial com a sistema passiu d'estalvi d'energia, en clima mediterrani continental.* Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Construccions Arquitectòniques I.

Figura 1 : Elaboración propia

Figura 2 : <http://en.wikipedia.org/wiki/Inosculation>

Figura 3 : http://theoriens.com/wp-content/uploads/Living_Root_Bridges_in_India_8.jpg

Figura 4 : <http://arborsmith.com/okinawa.html>

Figura 5 : <http://www.baubotanik.org/>

Figura 6 y Figura 7 : http://en.wikipedia.org/wiki/Green_roof

Figura 8: http://www.greenestate.org.uk/green_roofs2

Figura 9: <http://www.greenroofs.com/images/guest-may09DuessedorfTersteegenstr.jpg>

Figura 10 : http://www.treehugger.com/files/2007/06/green_roof_phot.php

Figura 11, y Figura 12 www.zinco-cubiertas-ecologicas.es

Figura 13 <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=255>

Figura 14 <http://www.tobyhanna.army.mil/about/news/news.html>

Figura 15 : www.greenroofs.org

Figura 16: www.greenbuildingpress.co.uk

Figura 17: www.intemper.com

Figura 18: http://www.treehugger.com/files/2006/10/parabienta_gree.php

Figura 19 : <http://www.eltlivingwalls.com/>

Figura 20 : <http://www.absolutmadrid.com/rincones-de-madrid-jardin-vertical-caixa-forum/>

Figura 21: <http://www.echostudiochicago.com/learn/patrick-blancs-vertical-gardenss>

Figura 22: http://www.besthomesdesign.com/wp-content/uploads/2010/07/The-vertical-garden-by-Patrick-Blanc-the-conquest-of-the-city-wall-to-plant_2-587x587.jpg

Figura 23: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Livingwall.jpg>

Figura 24: <http://style.creativculture.com/en/2010/10/living-wall2/>

Figura 25:
http://www.designboom.com/weblog/read.php?CATEGORY_PK=&TOPIC_PK=2163

Figura 26: <http://greenrooftopgardens.blogspot.com/>

Figura 27: <http://newsbird.wordpress.com/2009/10/06/vegitecture-building-covered-by-fall-colors/>

Figura 28: <http://www.greenscreen.com/home.html>

Figura 29: Grant, Gary. *Green roofs and façades*. Bracknell : IHS BRE Press, 2006.

Figura 30: <http://www.tenso.es/productos/subfamilias.asp?familia=Arquitectura>

Figura 31: <http://info.aia.org/walkthewalk/>

Figura 32: <http://urbangreens.tumblr.com/post/368976000/green-house-photo-by-guen-k-via-vegitecture>

Figura 33: <http://interiorfoliage.blogspot.com/2009/03/green-wall-revolution.html>

Figura 34: [www.livingmachines.com/about/how it works](http://www.livingmachines.com/about/how_it_works)

Figura 35: <http://toki-arkitekturak.blogspot.com/2011/01/lost-future-y-las-green-cities.html>

Figura 36: <http://www.edouardfrancois.com>

Figura 37: <http://objetivomalaga.diariosur.es/fotos-antoniovelez/edificio-editorial-planeta-barcelona-852709.html>

Figura 38,39, 40 ; Marshall, S., Connelly, M. *BCIT Green Roof Research Program, Phase 1. Summary of Data Analysis*. Centre for the Advancement of Green Roof Technology
http://commons.bcit.ca/greenroof/publications/cmhc_report.pdf

Figura 41 : Pérez Luque, Gabriel. *Façanes vegetades. estudi del seu potencial com a sistema passiu d'estalvi d'energia, en clima mediterrani continental*. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Construccions Arquitectòniques I.

Figura 42,43,44 : Chanampa M.; Vidal P.; Alonso J; Neila, J.; Bedoya, C; Touceda I.; Olivieri, F.; Guerra R. *Tecnologías verdes como instrumentos de rehabilitación arquitectónica* <http://www.sb1omad.com/ponencias/archivos/a/A010.pdf>

Figura 45 : Gonzalez Fernandez J. *Manual de fitodepuracion. Filtros de macrofitas en flotación*.
<http://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos%20Manual/Cap%EDtulos%201%20a%202.pdf>

Figura 46: <http://www.fitodepuracion.com/>

Figura 47: http://www.ciria.org.uk/suds/cs_hopwood_msa.htm

Figura 48, Figura 49 : http://en.wikipedia.org/wiki/Constructed_wetland

Figura 50: http://www.livingmachines.com/portfolio/detail/northern_zoo_city_of_emmen/

Figura 51: http://www.livingmachines.com/portfolio/detail/ecocentre_vive_verde/

Figura 52: http://www.livingmachines.com/images/uploads/resources/living_machine_brochure.pdf

Figura 53, Figura 54 : <http://www.wwuk.co.uk/grow.htm>

Figura 55, Figura 56 : Gonzalez A.; Chanampa M.; Bedoya, C; Neila, J. *Cubiertas planas fitodepuradoras Propuesta de gestión de aguas grises en altura, para barrios de alta y media densidad* <http://www.sb1omad.com/ponencias/archivos/a/A012.pdf>

Figura 57 : Dunnett, Nigel, and Noël Kingsbury. *Planting green roofs and living walls*. Portland : Timber Press, 2004.

Figura 58, Figura 59 : International Green Roof Congress, Roland Appl, Wolfgang Ansel, and International Green Roof Association. 2009. *Green roofs :Bringing nature back to town* :. Berlin: International Green Roof Association.

Figura 60- 66: <http://www.sanftestrukturen.de>

Figura 67- 77: <http://www.ferdinandludwig.com/plant-addition/articles/plant-addition.html>

Figura 78 : <http://www.archinode.com/bienal.html>

Figura 79 : <http://starecology-fgl936eme3.blogspot.com/2008/04/article-damadou-le-compost-est-une.html>

Figura 80 <http://climatelab.org/Composting>

Figura 81: <http://www.cityfarmer.info/2010/06/11/rooftop-haven-for-urban-agriculture-chicago-usa-an-award-winner/>

Figura 82: <http://www.renovablesverdes.com/el-huerto-urbano-en-techo-mas-grande-del-mundo/>

Figuras 83,84,85 : <http://work.ac/pf-1/?tag=temporary>

Figura 86 y Figura 87: <http://www.plataformaarquitectura.cl/2010/12/27/eathouse-de-stuurlui-stedenbouw-atelier-gras/>

Figura 88 : Arosemena Díaz, Graciela, Albert Cuchí, Francesc Navés Viñas. *Ruralizar la ciudad. Metodología de introducción de la agricultura como vector de sostenibilidad en la planificación urbana*. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica Catalunya. 2008

Figura 89 : Elaboración propia